



SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROCESSO DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO UTILIZANDO VAPOR DE ÁGUA

Jarmison de Araújo Silva¹; Jorge Recarte Henríquez²; Renata Andrade Figueiredo³; Flávio Augusto Bueno Figueiredo⁴; Jacek Stanislaw Michalewicz⁵

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Depto. de Engenharia Mecânica – jarmisonaraujo@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica - rjorge@ufpe.br

³ Universidade Federal de Pernambuco, Depto. de Engenharia Mecânica - renatha345@yahoo.com.br

⁴ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica - flavio.figueiredo@ufpe.br

⁵ Instituto Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica - jacek@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

Este trabalho mostra os resultados de uma simulação na gaseificação de seis amostras de biomassas da região nordeste do Brasil utilizando a injeção de vapor de água em seu processo para a produção de hidrogênio ou metano. O modelo está baseado num conjunto de reações químicas consideradas fundamentais no processo da gaseificação e em condições de equilíbrio químico. As equações do modelo foram resolvidas utilizando a plataforma EEs e um estudo paramétrico foi conduzido variando as condições de temperatura e fração de massa de vapor. As biomassas analisadas têm capacidade de produzir H₂ em até 56 % em pressão atmosférica de 1 atm. e temperatura entre 650 a 750 °C, e a melhor relação em massa de vapor/biomassa (V/B) é de 1,65.

Palavras-chave: simulação, gaseificação, biomassa, hidrogênio.

1. INTRODUÇÃO

A maior parcela de oferta de energia primária no Brasil vem de fontes fósseis, derivados do petróleo, gás natural e carvão respectivamente 40,6 %, 10,8 % e 1,3 % [BEN, 2014]. A utilização dessas fontes como combustíveis causa danos naturais pela emissão de poluentes resultantes da combustão alterando as características da atmosfera e provocando o aumento da temperatura do planeta pela emissão de gases efeito estufa, e chuva ácida no caso de alta concentração de enxofre contido nos combustíveis. O hidrogênio é um combustível de maior poder calorífico, podendo ser utilizado para a geração de energia elétrica, ele representa 70% dos compostos combinado na superfície da

terra, pode ser produzido através de eletrolise da água, fotólise, biomassa, combustíveis fósseis (como carvão e gás natural) e de processo termoquímico. Entre as décadas de 70 e 80, 98% de hidrogênio produzido eram de origem fóssil, e apenas 2% eram por eletrolise [Moreira, 2013].

A biomassa é uma fonte promissora para a produção de hidrogênio, além de ser uma alternativa limpa, contém baixo teor de enxofre e tem baixa tendência de produção de SO_x e NO_x. Dentro das técnicas de obtenção de hidrogênio, a gaseificação com injeção de vapor tem mostrado um grande potencial na conversão do carvão em hidrogênio, obtendo-se valores de 50 a 75 % em sua produção, além de 5 % de sua energia ser convertida em eletricidade, espera-se que



essa condição também seja alcançada com biomassa [Espindola, 2010].

Os processos termoquímicos da pirólise e a gaseificação podem ser definidos como a degradação térmica de um material orgânico sólido na ausência total ou parcial de um agente oxidante, ou em tal quantidade que a oxidação não seja completa. A gaseificação é caracterizada pela geração de um gás de baixo poder calorífico, constituído basicamente por elementos químicos como CO₂, CO, H₂, CH₄, H₂O, N₂, C_xH_y, alcatrão e particulados, que são resultantes da oxidação do combustível sólido em condições de fornecimento de ar abaixo da condição estequiométrica [Nogueira e Lora, 2003].

Em um sistema de produção de hidrogênio por processo de gaseificação, tem as seguintes características: temperatura entre 700-900 °C, a alimentação da biomassa, ar e vapor é de 0,445-0,512 kg/h, 0,5-0,7 Nm³/h e 0-1,8 kg/h respectivamente, obtendo eficiências de produção de hidrogênio entre 34,93% a 57,96% com e sem recuperação de calor nas condições da atmosfera reagente com pressões entre 17,5 e 30 MPa e o tempo de residência da biomassa é de 9 a 46 s; Em um sistema onde 8,5 kg/s de biomassa seca é gaseificada, o hidrogênio produzido chega a 0,521 kg/s, o custo de hidrogênio variou entre 1,59 US\$/kg a 7 US\$/kg [Yildiz, 2012].

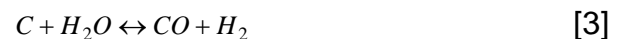
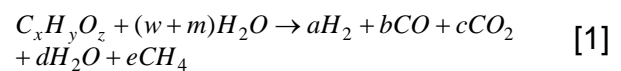
Na produção de hidrogênio por eletrolise, é necessário de uma tensão de 1,23 V para quebrar a molécula de água em hidrogênio e oxigênio, alcançando 80 % de eficiência em sua conversão [Espindola, 2010]. O consumo de energia para comprimir o gás hidrogênio a uma pressão de 30 bar é 2 kWh/kg [Hulteberg e Karlsson, 2008].

2. METODOLOGIA

A análise numérica do projeto foi realizada no software EES (Engineering

Equation Solver) na gaseificação das biomassas: baraúna, catingueira, burra leiteira, jurema preta e umbuzeiro, considerando uma modelagem envolvendo apenas reações químicas no processo. No fenômeno de conversão termoquímica de biomassa pode se ter dois problemas da mesma natureza, embora distinto se for considerada as condições de conversão e os produtos resultantes.

No caso específico da gaseificação, o conjunto de equações utilizadas para modelar o processo é especificado a seguir:



As reações [2] e [3] podem ser representadas através de uma única reação global indicada pela equação [5].



Sendo assim, o modelo fica estabelecido a partir das reações [1], [4] e [5]. Nestas equações os coeficientes x, y e z representam o número de mol associados às frações de carbono, hidrogênio e oxigênio presente na biomassa. O coeficiente w corresponde a o número de moles associado ao teor de umidade da amostra da biomassa enquanto que m corresponde ao coeficiente molar de vapor de água injetado ao processo de gaseificação. Os coeficientes a, b, c, d e representam as quantidades molares dos produtos resultantes da gaseificação.

Para a determinação das equações algébricas que permitam encontrar os coeficientes a, b, c, d e foi necessário



utilizar um balanço das espécies químicas na reação principal de gaseificação dada pela equação [1] e agregar duas outras equações não lineares a partir da equação de equilíbrio químico das reações [4] e [5] conforme segue. Para a equação [5], tem-se;

$$k1 = \frac{[CO]^1 \cdot [H_2O]^1}{[CO_2]^1 \cdot [H_2]^1} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1+1-(1+1)} = \frac{bd}{ca} \quad [6]$$

Fazendo o mesmo com a equação (4), resulta na equação [7].

$$k2 = \frac{[CH_4]^1}{[H_2]^2} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1-(2)} = \frac{e}{a} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{-1} \quad [7]$$

A constante de equilíbrio pode ser determinada a partir de tabelas especificadas ou de uma forma mais apropriada para uma simulação numérica a partir da sua definição através da função de Gibbs.

$$\ln(k) = - \frac{\Delta G^0}{RT} \quad [8]$$

Desta expressão, nota-se a dependência da constante de equilíbrio com a temperatura. A função de Gibbs pode ser obtida de uma expressão em função dos elementos que fazem parte da reação de dissociação conforme indicado na equação (9), considerando uma reação de dissociação genérica dada pela equação [10].

$$\Delta G^0 = (v_C \Delta g_C^0 + v_D \Delta g_D^0) - (v_A \Delta g_A^0 + v_B \Delta g_B^0) \quad [9]$$

$$(v_A \Delta g_A^0 + v_B \Delta g_B^0) = (v_C \Delta g_C^0 + v_D \Delta g_D^0) \quad [10]$$

O princípio do equilíbrio químico é explicado pela segunda lei da termodinâmica, no qual a variação da entropia é zero neste ponto. Quando uma reação caminha para este ponto, chega ao mínimo da curva de Gibbs ($dG_{T,P} = 0$) e que a mudança da função de Gibbs para

cada reagente e produto que se formam em uma temperatura e pressão, uma vez assumindo que seja um gás ideal, a entropia depende apenas da temperatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em laboratório foi feito uma análise elementar das biomassas determinando o seu conteúdo de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), umidade (U) e cinzas (Cl) em percentual em massa.

Tabela 3.1: Análise elementar

Amostra	C	H	O	U	Cl
Baraúna	37,80	3,71	45,47	11,07	1,95
Burra Leiteira	36,81	6,35	43,23	11,12	2,49
Catingueira	38,62	6,28	41,73	11,05	2,31
Jurema Preta	42,63	6,18	39,10	11,05	1,04
Maniçoba	35,97	5,94	43,24	10,76	4,08
Umbuzeiro	39,75	6,57	41,60	10,34	1,74

O modelo foi usado para prever a produção percentual dos gases de formação no conjunto de biomassas da Tabela 3.1. As análises foram concentradas apenas na discussão de formação de hidrogênio e metano. Este estudo foi conduzido variando alguns parâmetros de interesse como a temperatura da reação e a fração de massa de vapor injetado em relação à massa de biomassa.

As figuras 3.1 e 3.2 mostram os resultados do efeito da temperatura na formação de metano e hidrogênio para uma relação de V/B de 1,32. Os resultados indicam que o aumento na temperatura propicia a formação de CH₄ e CO₂ e a diminuição na composição do H₂ e CO. Condições que favorece a máxima produção de H₂ referente à temperatura, na ordem de 600 a 650°C, inversamente na produção de CH₄ são condições de temperatura alta por volta de 1500 °C e



consequentemente compromete nessa condição a formação de H_2 é entorno de 26 %.

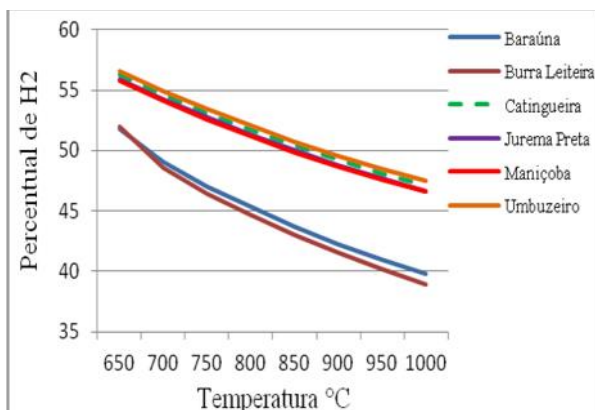


Figura 3.1: formação de H_2

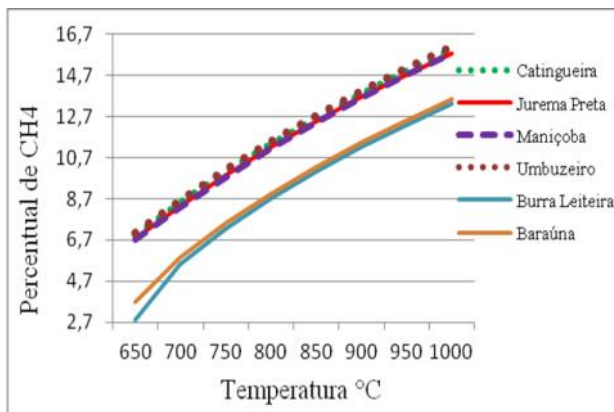


Figura 3.2: formação de CH_4

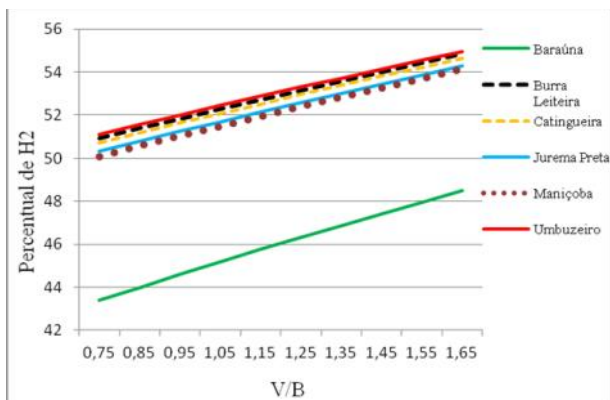


Figura 3.3: formação de H_2

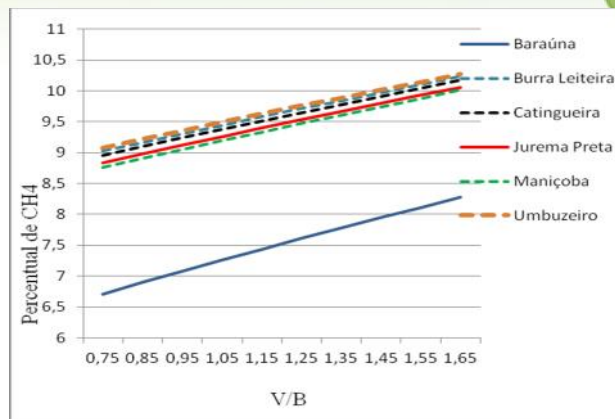


Figura 3.4: formação de CH_4

Nas figuras 3.3 e 3.4 são mostrados resultados da fração percentual de hidrogênio e metano em função da variação da fração de vapor injetado (relação de massa de vapor e massa de biomassa) no processo de gaseificação considerando uma temperatura de processo de 650 °C e pressão ambiente. Variando-se a relação de vapor/biomassa, é notado um aumento na formação de hidrogênio e metano devida a maior parte da mistura ter uma concentração maior de vapor, o que favorece a reação da esquerda para a direita na equação [5], contribuindo para a formação de H_2 e CH_4 . Fazendo uma análise minuciosa da biomassa especificamente umbuzeiro na formação de H_2 ou CH_4 , e por sua vez variando a temperatura para cada relação de vapor/biomassa (V/B), como estão bem representadas nas figuras 3.5 e 3.6 que segue o comportamento dos dois gases citados.

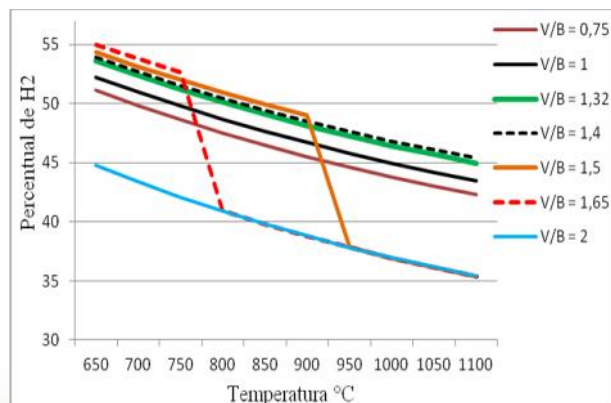


Figura 3.5: formação de H_2

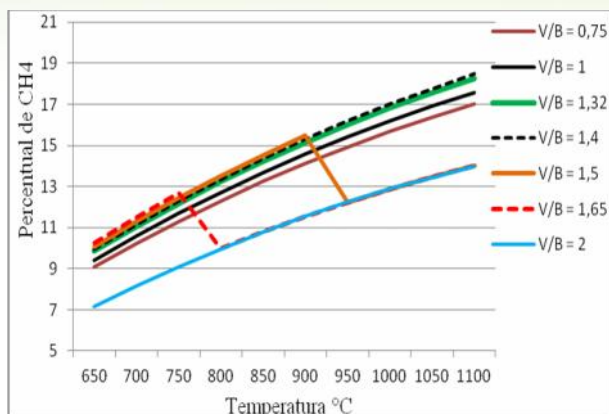


Figura 3.6: formação de CH₄

Para as faixas de variação de parâmetros estudados, a máxima formação de hidrogênio encontra-se em V/B igual a 1,65 e temperatura entre 650 a 750 °C. Se houver interesse em obter o metano, a máxima produção é na relação V/B igual a 1,4 e temperatura alta aproximadamente entre 1100 a 1500 °C.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada a produção de hidrogênio ou metano em processo de gasificação de biomassa. Os combustíveis sólidos utilizados foram baraúna, catingueira, burra leiteira, jurema preta, maniçoba e umbuzeiro, todos natural da região nordeste do Brasil.

O modelo considera a reação entre a biomassa e vapor de água em condições controladas de temperatura e regidas por condições de equilíbrio químico no reator.

Foram realizados estudos numéricos variando os parâmetros temperatura e relação vapor/biomassa. Os resultados apontam que o processo tem capacidade de produção de hidrogênio de até 54 % em pressão ambiente, temperatura entre 650 a 750 °C e relação de V/B igual a 1,65. A simulação mostra que é preciso definir qual é o gás que precisa ser produzido para estabelecer as condições de reação, pois, na obtenção de um dos gases comentado neste trabalho, compromete a formação do outro. Caso esteja interessado a obter metano, as condições de atmosfera são: V/B igual a

1,4 e temperatura alta, da ordem de 1100 a 1500 °C.

5. AGRADECIMENTOS

Ao programa de formação de recursos humanos em tecnologia de equipamentos para atuação no setor de petróleo, gás e biocombustíveis – PRH-PB203 e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEM (Balanço energético Nacional). Empresa de pesquisa energética. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/> > Acesso em 14/01/2015.

Espindola, J. Silveira. **Produção fotocatalítica de hidrogênio a partir de soluções de etanol em água**. 2010,140p. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Porto Alegre, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre-RS.

Hulteberg, P.C., H.T. Karlsson. **A study of combined biomass gasification and electrolysis for hydrogen production**. Sweden, 2008.

Moreira, Renata. **Patentes depositadas em âmbito nacional como indicador de desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio**. São Paulo, Brasil, 2013.

Nogueira, L. A. H., Lora E.E.S. **Dendroenergia Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2003.

Shapiro Howard N. **Fundamentals of engineering thermodynamics**. 5 edition, Ingland, 2006.

Turns, Stephen R. **An introduction to combustion**. 2 edition. Pennsylvania, 2000.



Yildiz Kalinci. ***Exergoeconomic analysis of hydrogen production from biomass gasification.*** Canada, 2012.